

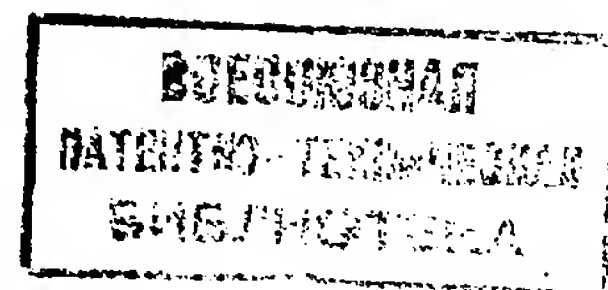


СОЮЗ СОВЕТСКИХ
СОЦИАЛИСТИЧЕСКИХ
РЕСПУБЛИК

(19) **SU** (11) **1694684 A1**

(51)5. C 22 C 38/50

ГОСУДАРСТВЕННЫЙ КОМИТЕТ
ПО ИЗОБРЕТЕНИЯМ И ОТКРЫТИЯМ
ПРИ ГКНТ СССР



ОПИСАНИЕ ИЗОБРЕТЕНИЯ

К АВТОРСКОМУ СВИДЕТЕЛЬСТВУ

1

(21) 4774139/02

(22) 25.12.89

(46) 30.11.91. Бюл. № 44

(72) А.Г.Глазистов

(53) 669.14.018.252.2-194(088,8)

(56) Авторское свидетельство СССР
№ 715639, кл. C 22 C 38/50, 1980.

(54) СТАЛЬ

(57) Изобретение относится к области металлургии, в частности к стали, которая может быть использована для изготовления комбинированных сверл-зенкеров, работающих в условиях сверления с пульсирующей подачей для ломки стружки отверстий диаметром до 70 мм и глубиной 85 мм в донной части цилиндрических деталей типа стаканов из высокопрочновязких сталей. Цель — повышение при температуре 690°C красностойкости, ударной вязкости, критического коэффициента интенсивности напряжения,

2

коэффициента теплопроводности, термической усталости, технологичности при ковке и шлифовке. Предложенная сталь дополнительно содержит бориды вольфрама, карбиды гифния, натрий, эрбий, рений, родий при следующем соотношении компонентов, мас. %: 0,98–1,20 углерода; 0,5–0,7 кремния; 0,7–0,9 марганца; 3,1–4,0 хрома; 3,4–4,4 молибдена; 4,6–5,7 вольфрама; 2,4–3,3 ванадия; 0,2–0,3 титана; 0,8–1,2 никеля; 0,15–0,30 циркония; 0,10–0,16 церия; 0,11–0,20 боридов вольфрама; 0,09–0,14 карбидов гафния; 0,06–0,14 натрия; 0,08–0,17 эрбия; 1,1–1,74 рения; 0,14–0,22 родия; железо — остальное. Предложенная сталь может быть использована для изготовления сверл-зенкеров, концевых фрез, работающих в условиях резания с пульсирующей подачей для ломки стружки, для обработки деталей из высокопрочновязких сталей. 2 табл.

Изобретение относится к области металлургии, в частности к области производства сталей, которые могут быть использованы для изготовления комбинированных сверл-зенкеров, работающих в условиях сверления с пульсирующей подачей для ломки стружки отверстий диаметром до 70 мм и глубиной 85 мм в донной части цилиндрических деталей типа стаканов из высокопрочновязких сталей.

Известна сталь, содержащая, мас. %:

Углерод	0,35–1,5
Кремний	0,1–2,0
Марганец	0,1–1,5
Хром	2,0–10,0
Молибден	0,5–1,2

Вольфрам	0,5–23,0
Ванадий	0,5–5,0
Ниобий	0,1–5,0

По крайней мере один
из металлов группы
редкоземельных
металлов

0,005–0,6

а также

Либо кобальт	1,0–20,0
Либо бор	0,001–0,050
и /или/ титан	≤ 2,0 и /или/
Цирконий	< 2,0 /или/
Гафний	< 2,0 и /или/
Иттрий	< 2,0 и /или/
Азот	< 0,3
Железо	Остальное

(19) **SU** (11) **1694684 A1**

Эта сталь обладает удовлетворительными уровнями красностойкости при 690°C, ударной вязкости при 20°C и поэтому может быть использована для изготовления комбинированных сверл-зенкеров. Однако эта сталь обладает низкими значениями термической усталости, критического коэффициента интенсивности напряжения при 20°C, коэффициента теплопроводности, что отрицательно сказывается на эксплуатационной стойкости инструмента: инструмент по причине низкого уровня термической усталости, критического коэффициента интенсивности напряжения преждевременно выходит из строя по хрупкому разрушению, а по причине низкого коэффициента теплопроводности происходит медленный отвод тепла от режущих кромок, из-за чего лезвие инструмента перегревается, происходит его затупление и смятие. Кроме этого, сталь имеет низкую технологичность при ковке и шлифовке, из-за чего возрастает стоимость изготовления инструмента. Следует отметить, что сталь для комбинированных сверл-зенкеров должна иметь высокий уровень ударной вязкости, красностойкости при температуре 690°C, термической усталости, а также иметь высокие значения критического коэффициента интенсивности напряжения, коэффициента теплопроводности, так как сверление деталей из высокопрочных сталей производится при тяжело нагруженных работах инструмента в пульсирующем режиме, для ломки стружки, иначе стружка обматывает инструмент и обрабатываемую деталь, что угрожает безопасности оператору, а также приводит к преждевременному затуплению инструмента и снижению производительности станка. Кроме того, сталь должна иметь высокую технологичность при ковке и шлифовке, что положительно сказывается на снижении стоимости изготовления инструмента. Поэтому ее применение ограничено для комбинированных сверл-зенкеров для сверления отверстий диаметром до 70 мм и глубиной 85 мм в донной части цилиндрических деталей типа стаканов из высокопрочных сталей.

Целью изобретения является устранение указанных недостатков. В основу изобретения поставлена задача создать сталь с таким составом входящих в нее компонентов и их соотношением, которые обеспечили бы ей при высокой технологичности при ковке, шлифовке достаточно высокие уровни ударной вязкости при 20°C, критического коэффициента интенсивности напряжения 20°C, красностойкости при 690°C, термической усталости, коэффициента теплопроводности

сти по сравнению со сталями аналогичного назначения. Для достижения указанной цели в сталь, в состав которой входят углерод, кремний, марганец, хром, молибден, вольфрам, ванадий, титан, никель, цирконий, церий, железо, дополнительно вводят бориды вольфрама, карбиды гафния, натрия, эрбий, рений, родий /физическое состояние их твердое/.

Предлагаемая сталь отличается от известной:

1. Дополнительным содержанием карбидов гафния от 0,09 до 0,14 мас.%. Карбиды гафния, введенные в указанном количестве, обеспечивают в стали при литье при высокой температуре 1600–1780°C равномерное распределение карбидов гафния, которые являются зародышами для дальнейшего выделения дисперсных карбидов хрома, молибдена, вольфрама, ванадия, титана, циркония и получения в последующем послековки и термической обработки структуры с равномерным распределением дисперсных карбидов, что в итоге повышает красностойкость при 690°C, технологичность при шлифовке. Уменьшение содержания карбидов гафния менее 0,09 мас.% снижает эффективность их в стали по измельчению карбидов хрома, молибдена, вольфрама, ванадия, титана, циркония и равномерности их распределения в стали, что отрицательно сказывается на снижении красностойкости при температуре 690°C и технологичности при шлифовке. Увеличение содержания карбидов гафния более 0,14 мас.% приводит в стали к крупным скоплениям карбидов гафния, вследствие этого образуется неравномерное распределение карбидов хрома, молибдена, вольфрама, ванадия, титана, циркония, которые слабо связаны с матрицей металла и быстро выкрашиваются, в результате чего снижается технологичность при шлифовке и ковке. Кроме того, крупные скопления карбидов гафния и неравномерное распределение карбидов хрома, молибдена, вольфрама, ванадия, титана, циркония снижает уровни ударной вязкости и критического коэффициента интенсивности напряжения.

2. Дополнительным содержанием боридов вольфрама от 0,11 до 0,20 мас.%. Бориды вольфрама, введенные в указанных количествах, обеспечивают в стали измельчение зерна и структурных фаз при термической обработке, что повышает термическую усталость, красностойкость, коэффициент теплопроводности. Уменьшение содержания боридов вольфрама менее 0,11 мас.% снижает эффективность их как

измельчителя зерен и структурных фаз при термической обработки, в результате чего уменьшается термическая усталость, красностойкость, коэффициент теплопроводности. Увеличение содержания боридов вольфрама более 0,20 мас. % приводит в стали к крупным скоплениям боридов вольфрама, а также приводит к образованию сложных хромомолибденовольфрамованадиево-титаноцирконийборидовольфрамовых окислов в виде пленок по границам зерен, что в совокупности приводит к снижению ударной вязкости, коэффициента теплопроводности, критического коэффициента интенсивности напряжения, красностойкости при температуре 690°C.

3. Дополнительным содержанием родия от 0,14 до 0,22 мас. %. Родий, введенный в указанном количестве, усиливает образование тонкораспределенных выделившихся карбидов хрома, молибдена, ванадия, вольфрама, титана, циркония, что приводит к повышению термической усталости, коэффициента теплопроводности, технологичности при шлифовке. Уменьшение содержания родия менее 0,14 мас. % не приводит к образованию тонкого распределения частиц карбидов хрома, молибдена, ванадия, вольфрама, титана, циркония, что отрицательно сказывается на снижении термической усталости, коэффициента теплопроводности и технологичности при шлифовке. Увеличение содержания родия более 0,22 мас. % приводит к образованию по границам зерен в виде хрупких пленок соединения FeRh, что отрицательно сказывается на снижении ударной вязкости, критического коэффициента интенсивности напряжения, коэффициента теплопроводности, технологичности при шлифовке.

4. Дополнительным содержанием рения от 1,1 до 1,74 мас. %. Рений, введенный в указанных количествах, обеспечивает в стали равномерное распределение дисперсных карбидов рения, а также перераспределение кислорода и образование сложных молибденовольфрамованадиево-титаноцирконийрениевых окислов в виде глобул, располагающихся в теле зерен, что в совокупности приводит к повышению термической усталости, красностойкости, технологичности при ковке. Уменьшение содержания рения менее 1,1 мас. % приводит к уменьшению карбидов рения в стали, а также количества глобулярных сложных молибденовольфрамованадиево-титаноцирконийрениевых окислов, располагающихся в теле зерен, что в итоге приводит к снижению термической усталости, красностойкости, технологичности при ковке. Увеличение

содержания рения более 1,74 мас. % приводит к образованию сложных молибденовольфрамованадиево-титаноцирконийрениевых окислов в виде пленок по границам зерен, в результате чего снижается ударная вязкость, критический коэффициент интенсивности напряжения, коэффициент теплопроводности. Кроме того, увеличение содержания рения более 1,74 мас. % вызывает стабилизацию феррита, из-за чего образуется неполнота фазовых приращений при нагреве стали под закалку, что отрицательно сказывается на снижении красностойкости.

5. Дополнительным содержанием эрбия от 0,08 до 0,17 мас. %. Эрбий, введенный в указанном количестве, взаимодействует с серой, оказывает десульферирующее влияние, а также является эффективным глобулятором неметаллических включений, придавая им компактную округлую форму небольшой протяженности, что в итоге положительно сказывается на увеличении термической усталости, технологичности при шлифовке, ударной вязкости, критического коэффициента интенсивности напряжения. Уменьшение содержания эрбия менее 0,08 мас. % неэффективно, так как снижение содержания эрбия снижает десульферирующее влияние и снижается его роль как глобуляризатора неметаллических включений, что отрицательно сказывается на снижении ударной вязкости, критического коэффициента интенсивности напряжения, термической усталости, технологичности при шлифовке. Увеличение содержания эрбия более 0,17 мас. % также нежелательно, так как будет иметь место загрязнение металла сложными многофазными включениями. При этом за счет увеличения остаточного эрбия в расплаве заметно возрастает склонность стали к повторному окислению и загрязненность стали увеличивается, в результате чего ударная вязкость, термическая усталость, критический коэффициент интенсивности напряжения, технологичность при шлифовке снижаются.

6. Дополнительным содержанием натрия от 0,06 до 0,14 мас. %. Натрий, введенный в указанном количестве, усиливает общую десульфурацию стали, уплотняет структуру вблизи зерен, очищает границы зерен от обогащения фосфором и карбидных выделений, что в совокупности повышает коэффициент теплопроводности, критический коэффициент интенсивности напряжения, технологичности при ковке. Уменьшение содержания натрия менее 0,06 мас. % неэффективно, так как снижение содержания натрия повышает рыхлость

структуры вблизи зерен, не очищает границы зерен от обогащения фосфором и карбидными выделениями, что приводит к снижению коэффициента теплопроводности, критического коэффициента интенсивности напряжения, термической усталости, технологичности при ковке. Увеличение содержания натрия более 0,14 мас. % приводит к уменьшению коэффициента теплопроводности, критического коэффициента интенсивности напряжения, технологичности при ковке и шлифовке из-за повышенной загрязненности стали окислами натрия типа $X(\text{Na}_2\text{O}) \cdot Y(\text{MnO}) \cdot Z(\text{Cr}_2\text{O}_3)$ в результате повторного окисления натрия и его соединений.

Приведенное содержание углерода (0,98–1,2 мас. %) обеспечивает стали при температуре 690°C высокую красностойкость и технологичность при ковке. Указанное содержание кремния (0,5–0,7 мас. %) обеспечивает стали высокие уровни ударной вязкости, критического коэффициента интенсивности напряжения, технологичности при шлифовке. Введение в сталь марганца в пределах 0,7–0,9 мас. % обеспечивает стали высокую технологичность при ковке. Введение в сталь хрома в пределах от 3,1 до 4,0 мас. %, титана от 0,2 до 0,3 мас. %, циркония от 0,15 до 0,30 мас. % повышает термическую усталость, технологичность при шлифовке и коэффициент теплопроводности. Введение в сталь никеля в пределах 0,8–1,2 мас. %, церия в пределах 0,1–0,16 мас. % обеспечивает стали высокие уровни ударной вязкости, критического коэффициента интенсивности напряжения и коэффициента теплопроводности. Указанное содержание вольфрама (4,6–5,7 мас. %), молибдена /3,4–4,4 мас. %/, ванадия /2,4–3,3 мас. %/, титана /0,2–0,3 мас. %/ повышает красностойкость, термическую усталость. Основным компонентом стали является железо, но кроме указанных легирующих элементов в ней содержатся примеси, мас. %: серы до 0,03; фосфора до 0,03; меди до 0,20. Наиболее эффективно сталь, согласно изобретения, может быть использована для изготовления комбинированных сверленкеров, работающих в условиях сверления, с пульсирующей подачей для ломки стружки, отверстий диаметром до 70 мм и глубиной 85 мм в донной части цилиндрических деталей типа стаканов из высокопрочновязких сталей. Для пояснения изобретения приведены примерные составы сталей со ссылками на таблицу. Сталь, согласно изобретению, выплавляют в электропечах по известным способам выплавки инструментальных сталей на обычных ших-

товых материалах с соответствующим содержанием ингредиентов. Для подтверждения того, что заявленная сталь в соответствии с формулой изобретения обеспечивает достижение поставленной цели приводим для сравнения плавки 6–8 конкретного выполнения с граничными и оптимальными значениями всех ингредиентов, входящих в состав известной стали /прототипа/ с полученными по каждому из них механико-технологическими свойствами в процессе их испытания на образцах того же типа и при тех же одинаковых условиях их изготовления и испытания, что и заявляемой стали (плавки 1–5). Химический состав плавов 1–8 приведен в табл. 1.

Состав плавки (см. табл. 1) не обеспечивает стали высокой красностойкости: красностойкость оценивали по твердости (твердость измеряли на приборе ТК-2 по шкале С при температуре 20°C) на шлифованных (с параметром шероховатости $R = 0,32$ мкм по ГОСТ 2789-73) образцах диаметром 70 мм и высотой 20 мм, вырезанных электроэрозионным способом из термически упрочненных (закалка с температуры 1200°C с выдержкой 10,4 мин, охлаждение в масле и трехкратный отпуск при температуре 575°C продолжительностью каждого отпуска 1,2 ч) заготовок диаметром 70 мм и длиной 85 мм, прошедшие дополнительный отпуск при температуре 690°C продолжительностью 7,5 ч. Красностойкость стали данного состава составляет 58,9 ед. HRC. Сталь указанного состава при температуре 20°C имеет низкую ударную вязкость, равную 284 кДж/м². Ударную вязкость определяли на шлифованных до параметра шероховатости $R_d = 0,32$ мкм по ГОСТ 2789-73 образцах II типа по ГОСТ 9454-78 при V-виде концентратора ($R = 0,25$ мм), вырезанных электроэрозионным способом с поверхности заготовок диаметром 70 мм и длиной 85 мм, прошедших закалку от температуры 1200°C с выдержкой 10,4 мин, охлаждение в масле и трехкратный отпуск при температуре 575°C продолжительностью каждого отпуска 1,2 ч. Испытания производили на копре с запасом работы маятника 147 Дж. Сталь указанного состава при температуре 20°C имеет низкий критический коэффициент интенсивности напряжения, равный 398 кгс/мм^{3/2}. Критический коэффициент интенсивности напряжения определяли на призматических образцах малого размера 15x20x150 мм, прошедших термическое упрочнение (закалка с температуры аустенитизации 1200°C с выдержкой 3,5 мин, охлаждение в масле с последующим трехкратным отпуском

при температуре 575°C продолжительностью каждого отпуска 1,2 ч). Наведение усталостной трещины на образцах производили после термического упрочнения. Образцы шлифовали до параметра шероховатости $R_a = 0,32$ мкм по ГОСТ 2789-73. Испытания образцов проводили на копре с запасом работы маятника 147 Дж при 20°C. В процессе испытания определяли полную работу разрушения /А, Дж/ и непосредственно на изломе длину исходной усталостной трещины (l, мм), эти данные были исходными для вычисления характеристики K_{LC} по формуле

$$K_{LC} = \sqrt{\frac{E \cdot A \cdot t}{(L - \delta)^2 \cdot t_n \cdot B^2 (2,94 - 4,46 (t/B))}},$$

где E и δ – соответственно модуль упругости и коэффициент Пуассона. B , t и t_n – высота, номинальная толщина и толщина образца в нетто-сечении. Сталь указанного состава имеет низкую термическую усталость, равную 7935 циклов. Термическую усталость определяли на шлифованных до параметра шероховатости $R = 0,32$ мкм по ГОСТ 2789-73 образцах диаметром 20 мм и длиной 55 мм, вырезанных электроэрозионным способом с поверхности заготовок диаметром 70 мм и длиной 85 мм, прошедших закалку от температуры 1200°C с выдержкой 10,4 мин, охлаждение в масле и трехкратный отпуск при 575°C продолжительностью каждого отпуска 1,2 ч. Испытания на термическую усталость производили по методике, описанной Ю.А.Геллер "Инструментальные стали", М.: Металлургия, 1983 г., с. 67–69. Для определения термической усталости образцы нагревали токами высокой частоты на установке ЛПЗ-67В (частота тока 60–74 кГц) на глубину 1,2–1,5 мм. Термический цикл включал нагрев образцов до температуры 690°C на глубину 1,2–1,5 мм в течение 8 с и охлаждения в масле до 20°C. Через каждые 10 термических циклов образцы зачищали и исследовали на наличие трещин. Термическая усталость определялась по числу термических циклов до образования первой трещины. Сталь указанного состава имеет низкую технологичность при шлифовке, оцененную по коэффициенту шлифуемости /G/, равную 8,6. Коэффициент шлифуемости /см. книгу И. Артингер "Инструментальные стали и их термическая обработка", М.: Металлургия, 1982 г., с. 77–78/ рассчитывали по формуле:

$$G = \frac{Q_1 - Q_2}{P_1 - P_2},$$

где G – коэффициент шлифуемости; Q_1 и Q_2 – масса металла образца соответственно до и после шлифовки, г; P_1

и P_2 – масса шлифовального круга соответственно до и после шлифования, г. Для определения коэффициента шлифуемости производили шлифование при 20°C продольными проходами образца вырезанных электроэрозионным способом с поверхности заготовок диаметром 70 мм и длиной 85 мм, прошедших закалку от температуры аустенитизации 1200°C с выдержкой 10,4 мин, охлаждение в масле и трехкратный отпуск при температуре 575°C продолжительностью каждого отпуска 1,2 ч. Образец длиной 85 мм с поверхностью шероховатости $R_a = 0,32$ мкм по ГОСТ 2789-73 шлифовали с диаметра 15 мм на диаметр 10 мм, кругом шлифовальным ПП150×20×32 24А 40СМ7К5 35 м/с 1 кл. АГОСТ 2424-75 при глубине шлифования 0,03 мм, продольной подаче 4 мм, окружной скорости шлифовального круга 15,76 м/с; скорость образца (заготовки) 40 об/мин; охлаждение при шлифовании производили 1,5% эмульсией из эмульсола марки Э-1/А/. Поверхность шероховатости образца после шлифовки имела $R_a = 0,32$ мкм по ГОСТ 2789-73. Взвешивание образцов производили на весах ВЛА-200 г-М, а шлифовального круга на весах ВЛТ-6. Сталь указанного состава имеет низкую технологичность при ковке – "тяжело" куется. Технологичность при ковке оценивали по способности к деформации в ковочном интервале температур (температура началаковки 1160°C, температура окончанияковки 920°C, охлаждение послековки со скоростью 40 град/ч до 20°C) и по наличию или отсутствия трещин в прутках диаметром 15 мм. Заготовки сечением 70 x 100 мм, длиной 240 мм нагревали в кузнечной нагревательной печи до температуры 1160°C и проковывали под молотом БШ-350 на круг диаметром 15 мм. При этом температура концаковки соответствовала допустимой 920°C. Способность к ковке оценивалась по трехбалльной шкале: куется "очень тяжело" – при наличии трещин в количестве одной; куется "тяжело" – при наличии одной трещины; куется "легко" – при отсутствии трещины. Сталь указанного состава имеет низкий коэффициент теплопроводности 0,089971 кал/см·°С·с. Коэффициент теплопроводности определяли на образцах диаметром 50 мм и длиной 190 мм, прошедших термическое упрочнение (закалка с температуры аустенитизации 1200°C с выдержкой 9,8 мин, охлаждение в масле с последующим трехкратным отпуском при 575°C продолжительностью каждого отпуска 1,2 ч). Образцы со всех сторон шлифовали до параметра шероховатости $R_a = 0,32$ мкм по ГОСТ 2789-73. Для определения коэффи-

циента теплопроводности в образце вдоль вертикальной оси с торца головки на глубину 60 мм высверливали отверстие диаметром 30 мм, в которое устанавливали электронагреватель диаметром 20 мм, высотой 50 мм и закрывали сверху торец головки образца шайбой диаметром 50 мм и высотой 15 мм из испытуемого материала образца. В образце от торца головки на расстоянии 90 и 140 мм производили перпендикулярно вертикальной оси образца на глубину 25 мм сверление диаметром 6 мм, в которое ко дну отверстия приваривали с помощью тока разряда конденсаторных батарей диаметром 0,2 мм платино-платинорадиевые термодпары. Образцы в собранном виде вертикально головкой вверх помещали через днище, в цилиндрическую камеру с внутренним диаметром 200 мм, внутренней высотой 300 мм и толщиной стенки 10 мм. Нижний торец образца крепился в днище камеры с обеих сторон с помощью телескопических в виде усеченного конуса крепежно-уплотнительного устройства с теплоизоляционными манжетами. Образец устанавливали так, чтобы сверление под нижнюю термодпару было на уровне 10 мм от внутренней стороны днища цилиндрической камеры, а нижний торец образца выходил за пределы наружной стороны камеры на 30 мм. Образец охлаждался снизу путем помещения всей нижней части камеры /днища/ в ванну с водой с температурой 20°C (камера ставилась в ванну на пустотелые ножки). Нагрев головки образца производили до 400°C, длительность испытания 20 мин. Разность температур, расстояние между приваренными к образцу термодпарами, площадь поперечного сечения образца между термодпарами, расходуемая мощность в печи головки образца, время испытания были исходными данными для вычисления коэффициента теплопроводности по формуле

$$\lambda = \frac{Q \cdot l}{S \cdot (t_1 - t_2) \cdot \tau},$$

где λ — коэффициент теплопроводности, кал/см·°C·с; Q — количество теплоты, кал; l — расстояние между верхней и нижней термодпарой, см; S — площадь поперечного сечения образца между верхней и нижней термодпарами, см²; t_1 и t_2 — показания температуры соответственно в верхней и нижней термодпарах, °C; τ — длительность испытания, с. /методика испытания коэффициента теплопроводности описана в книге Б.Г. Лившица "Физические свойства металлов и сплавов", М.: Машгиз, 1956 г., с. 240–241, рис.192/. Состав плавки 2 при рассмотренных методах испытаний, режимах термиче-

ской обработки обеспечивает стали высокие уровни красностойкости /60,2 ед.HRC/, ударной вязкости (354 кДж/м²), критического коэффициента интенсивности напряжения (449 кгс/мм^{3/2}), коэффициента теплопроводности (0,09552 кал/см·°C·с), термической усталости (9065 циклов), технологичности при ковке и шлифовке (11,1). Состав плавки 3 при рассмотренных методах испытаний, режимах термообработки обеспечивает стали высокие уровни красностойкости /61,9 ед.HRC/, ударной вязкости /331 кДж/м²/, критического коэффициента интенсивности напряжения /425 кгс/мм^{3/2}/, коэффициента теплопроводности /0,09040 кал/см·°C·с/, термической усталости (8675 циклов), технологичности при ковке (легко куется) и шлифовке (10,3). Состав плавки 4 при рассмотренных методах испытаний, режимах термической обработки обеспечивает стали высокие уровни красностойкости (62,8 ед.HRC), ударной вязкости (306 кДж/м²), критического коэффициента интенсивности напряжения (405 кгс/мм^{3/2}), коэффициента теплопроводности (0,089760 кал/см·°C·с), термической усталости (8241 циклов), технологичности при ковке (легко куется) и шлифовке (9,8). Состав плавки 5 при рассмотренных методах испытаний, режимах термической обработки не обеспечивает стали высоких уровней красностойкости (59,9 ед.HRC), ударной вязкости (268 кДж/м²), критического коэффициента интенсивности напряжения (376 кгс/мм^{3/2}), коэффициента теплопроводности (0,083410 кал/см·°C·с), термической усталости (7614 циклов), технологичности при ковке (тяжело куется) и шлифовке (9,04). Состав плавки 6 при рассмотренных методах испытаний, режимах термообработки не обеспечивает стали высоких уровней красностойкости /57,2 ед.HRC/, ударной вязкости (245 кгс/мм²), критического коэффициента интенсивности напряжения (354 кгс/мм^{3/2}), коэффициента теплопроводности (0,079450 кал/см·°C·с), термической усталости /7411 циклов/, технологичности при ковке (тяжело куется) и шлифовке (8,2). Состав плавки 7 при рассмотренных методах испытаний, режимах термической обработки не обеспечивает стали высоких уровней красностойкости (58,1 ед.HRC), ударной вязкости (224 кДж/м²), критического коэффициента интенсивности напряжения (327 кгс/мм^{3/2}), коэффициента теплопроводности (0,076354 кал/см·°C·с), термической усталости (7116 циклов), технологичности при ковке (тяжело куется) и шлифовке (7,3). Состав плавки 8 при рассмотренных методах испытаний, ре-

жимах термической обработки не обеспечивает стали высоких уровней красностойкости (59,2 ед. HRC), ударной вязкости (200 кДж/м²), критического коэффициента интенсивности напряжения (308 кгс/мм^{3/2}), коэффициента теплопроводности (0,072244 кал/см·°С·с), термической усталости /6979 циклов/, технологичности при ковке (очень тяжело куется) и шлифовке (6,8).

Механические свойства заявляемой стали представлены в табл.2 в сопоставлении со сталью известного состава.

Заявляемая сталь, как видно из таблицы, состава плавов 2,3,4 при высоких значениях при температуре испытания 690°С красностойкости обладает высокими уровнями ударной вязкости, критического коэффициента интенсивности напряжения, коэффициента теплопроводности, термической усталости, технологичности при ковке и шлифовке.

Применение предлагаемой стали для комбинированных сверл-зенкеров, работающих в условиях сверления с пульсирующей подачей для ломки стружки отверстий диаметром до 70 мм и глубиной 85 мм в донной части цилиндрических деталей типа стаканов из высокопрочновязких сталей, приводит к увеличению стойкости инструмента и позволяет получить ожидаемый годовой экономический эффект на одном виде инструмента в размере 2631,2 руб. Заявляемая сталь прошла испытания на предприя-

тии и рекомендована руководством предприятия к внедрению.

Ф о р м у л а и з о б р е т е н и я

5 Сталь, содержащая углерод, кремний, марганец, хром, молибден, вольфрам, ванадий, титан, никель, цирконий, церий и железо, отличающаяся тем, что, с целью повышения при температуре 690°С красностойкости, ударной вязкости, критического коэффициента интенсивности напряжения, коэффициента теплопроводности, термической усталости, технологичности при ковке и шлифовке, она дополнительно содержит бориды вольфрама, карбиды гафния, натрия, эрбий, рений, родий при следующем соотношении компонентов, мас. %:

Углерод	0,98-1,20
Кремний	0,5-0,7
Марганец	0,7-0,9
Хром	3,1-4,0
Молибден	3,4-4,4
Вольфрам	4,6-5,7
Ванадий	2,4-3,3
Титан	0,2-0,3
Никель	0,8-1,2
Цирконий	0,15-0,30
Церий	0,10-0,16
Бориды вольфрама	0,11-0,20
Карбиды гафния	0,09-0,14
Натрий	0,06-0,14
Эрбий	0,08-0,17
Рений	1,1-1,74
Родий	0,14-0,22
Железо	Остальное

35

Т а б л и ц а 1

Плав-ка	Содержание элементов, мас. %																	
	Углерод	Кремний	Марганец	Хром	Молибден	Вольфрам	Ванадий	Титан	Никель	Цирконий	Церий	Бориды вольфрама	Карбиды гафния	Натрий	Эрбий	Рений	Родий	Железо
2	0,98	0,5	0,7	3,1	3,4	4,6	2,4	0,2	0,8	0,15	0,10	0,11	0,09	0,06	0,08	1,1	0,14	Остальное
3	1,09	0,6	0,8	3,55	3,9	5,15	2,85	0,25	1,0	0,225	0,13	0,155	0,115	0,10	0,125	1,42	0,18	"
4	1,20	0,7	0,9	4,0	4,4	5,7	3,3	0,3	1,2	0,30	0,16	0,20	0,14	0,14	0,17	1,74	0,22	"
6	1,35	0,2	0,2	3,8	2,8	8,0	3,5	0,1	0,2	0,1	0,1	-	-	-	-	-	-	"
7	1,415	0,3	0,3	4,05	3,2	8,5	4,0	0,15	0,3	0,175	0,175	-	-	-	-	-	-	"
8	1,48	0,4	0,4	4,3	3,6	9,0	4,5	0,2	0,4	0,25	0,25	-	-	-	-	-	-	"

Т а б л и ц а 2

Плав- ка	Красно- стой- кость HRC	Ударная вязкость КСV150/ /2/10, кДж/м ²	Критичес- кий коэф- фициент интенсив- ности напряже- ния, кгс/мм ^{3/2}	Коэффици- ент тепло- проводности, кал/см · °С · с	Терми- ческая уста- лость, цикл	Техноло- гичность при ков- ке	Коэффи- циент шлифую- мости
2	60,2	354	449	0,09552	9065	Легко	11,1
3	61,9	331	425	0,09040	8675	Легко	10,3
4	62,8	306	405	0,089760	8241	Легко	9,8
6	57,2	245	354	0,079450	6411	Тяжело	8,2
7	58,1	224	327	0,076354	6116	Тяжело	7,3
8	59,0	200	298	0,072244	5779	Очень тяжело	6,8

Редактор Т. Пилипенко Составитель Л. Суязова
 Техред М.Моргентал Корректор В. Гирняк

Заказ 4132 Тираж Подписное
 ВНИИПИ Государственного комитета по изобретениям и открытиям при ГКНТ СССР
 113035, Москва, Ж-35, Раушская наб., 4/5

Производственно-издательский комбинат "Патент", г. Ужгород, ул.Гагарина, 101